

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-326507

(43)Date of publication of application : 28.11.2000

(51)Int.Cl.

B41J 2/045

B41J 2/055

H01L 41/09

(21)Application number : 11-136066

(71)Applicant : SEIKO EPSON CORP

(22)Date of filing : 17.05.1999

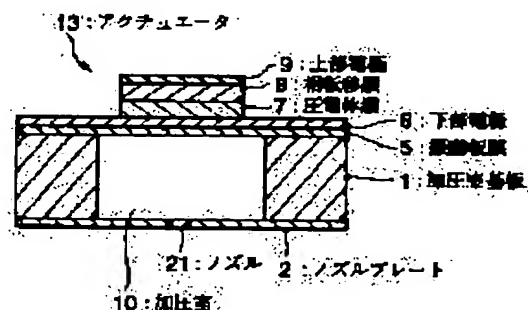
(72)Inventor : SUMI KOJI

(54) ACTUATOR, INK JET RECORDING HEAD AND INK JET PRINTER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an actuator excellent in driving characteristics and exhibiting a larger displacement as compared with a conventional piezoelectric actuator.

SOLUTION: The actuator 13 has a multiplayer structure of a phase transition film 8 in which a strain is induced through phase transition of crystal structure caused by a stress generated in the film, and a piezoelectric film 7 generating a piezoelectric strain through reverse piezoelectric effect and applying a stress to the phase transition film 8. The piezoelectric film 7 generates a piezoelectric strain upon application of a voltage and applies a stress to the phase transition film 8. Since phase transition of crystal structure takes place in the phase transition film 8 by such a stress, variation of volume takes place. Since variation of volume of the phase transition film 8 can be converted efficiently into vertical strain, a larger displacement can be obtained as compared with a conventional piezoelectric actuator.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

21.11.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3551357

[Date of registration]

14.05.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-326507
(P2000-326507A)

(43) 公開日 平成12年11月28日 (2000. 11. 28)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト (参考)
B 4 1 J 2/045		B 4 1 J 3/04	1 0 3 A 2 C 0 5 7
2/055		H 0 1 L 41/08	J
H 0 1 L 41/09			

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平11-136066

(22) 出願日 平成11年 5 月17日 (1999. 5. 17)

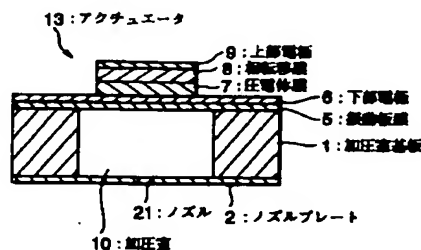
(71) 出願人 000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿 2 丁目 4 番 1 号
(72) 発明者 角 浩二
長野県諏訪市大和 3 丁目 3 番 5 号 セイコーエプソン株式会社内
(74) 代理人 100079108
弁理士 稲葉 良幸 (外 2 名)
Fターム (参考) 2C057 AF03 AF52 AG14 AG44 AG49
AG93 AG94 AM03 AM16 AR08
AR16 BA04 BA14

(54) 【発明の名称】 アクチュエータ、インクジェット式記録ヘッド及びインクジェットプリンタ

(57) 【要約】

【課題】 従来の圧電アクチュエータよりも変位量が大きく、駆動特性に優れたアクチュエータを提供する。

【解決手段】 本発明のアクチュエータ (13) は、膜内部に生じた応力に起因して結晶構造が相転移し、歪みを生じる相転移膜 (8) と、逆圧電効果により圧電歪みを生じ、相転移膜 (8) に応力を与える圧電体膜 (7) との積層構造を有する。圧電体膜 (7) は電圧の印加により圧電歪みを生じ、このときの歪みによって相転移膜 (8) に応力が掛かる。かかる応力により相転移膜 (8) は結晶構造が相転移するため、体積変化が生じる。相転移膜 (8) の体積変化は効率良く縦歪みに変換できるため、従来の圧電アクチュエータよりも大きな変位を得ることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 膜内部に生じた応力に起因して結晶構造が相転移し、歪みを生じる相転移膜と、逆圧電効果により圧電歪みを生じ、前記相転移膜に応力を与える圧電体膜との積層構造を有するアクチュエータ。

【請求項2】 前記相転移膜の歪みによって延びる方向は、電圧が印加されたときの前記圧電体膜の歪みによって延びる方向に概略一致することを特徴とする請求項1に記載のアクチュエータ。

【請求項3】 前記相転移膜の歪みによって延びる方向は、電圧が印加されたときの前記圧電体膜の歪みによって延びる方向に概略直交することを特徴とする請求項1に記載のアクチュエータ。

【請求項4】 前記相転移膜の組成は、チタン酸バリウム、ジルコニウム酸鉛、チタン酸バリウム・ストロンチウム、チタン酸バリウム・スズうち何れかであることを特徴とする請求項1乃至請求項3のうち何れか1項に記載のアクチュエータ。

【請求項5】 前記圧電体膜の組成は、チタン酸鉛、ジルコニウム酸チタン酸鉛、チタン酸鉛ランタン、ジルコニウム酸チタン酸鉛ランタン、マグネシウムニオブ酸ジルコニウムチタン酸鉛、又は、ジルコニウム酸チタン酸鉛にタングステン、ニッケル、マンガン、亜鉛、コバルトのうち何れか2つの元素を含む系のうち何れかであることを特徴とする請求項1乃至請求項4のうち何れか1項に記載のアクチュエータ。

【請求項6】 前記薄膜の積層構造は、上部電極／相転移膜／圧電体膜／下部電極であることを特徴とする請求項1乃至請求項5のうち何れか1項に記載のアクチュエータ。

【請求項7】 前記薄膜の積層構造は、上部電極／圧電体膜／相転移膜／下部電極であることを特徴とする請求項1乃至請求項5のうち何れか1項に記載のアクチュエータ。

【請求項8】 前記薄膜の積層構造は、上部電極／圧電体膜／下部電極／相転移膜であることを特徴とする請求項1乃至請求項5のうち何れか1項に記載のアクチュエータ。

【請求項9】 加圧室を複数備えた加圧室基板と、前記加圧室に対応して設けられた請求項1乃至請求項8のうち何れか1項に記載のアクチュエータと、を備えるイン

クジェット式記録ヘッド。

【請求項10】 前記加圧室と前記アクチュエータの間に振動板膜を介在させたことを特徴とする請求項9に記載のインクジェット式記録ヘッド。

【請求項11】 請求項9又は請求項10に記載のインクジェット式記録ヘッドを備えたインクジェットプリンタ。

【請求項12】 請求項3に記載のアクチュエータと、略台形状の電圧変化特性を有する駆動信号で前記アクチュエータを駆動する制御回路と、を備えたインクジェットプリンタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は結晶構造の相転移に起因する薄膜の体積変化を利用してアクチュエータ（actuator）を構成する技術に係わる。特に、オンデマンド方式のインクジェット式記録ヘッドに好適なアクチュエータの構造に係わる。

【0002】

【従来の技術】オンデマンド方式のインクジェット式記録ヘッドは、一般的に、多数の個別インク通路（インクキャビティ、インク溜り等）が形成された加圧室基板と、インク通路を覆うようにヘッド基台に取付けた振動板膜と、振動板膜の個別インク通路に対応して被着形成された圧電アクチュエータ（圧電体素子）を備えて構成されている。圧電アクチュエータはインクジェット式記録ヘッドのインク吐出駆動源として機能する電気機械変換素子であり、チタン酸ジルコニウム酸鉛、ジルコニウム酸鉛、チタン酸鉛ランタン、ジルコニウム酸チタン酸鉛ランタン、マグネシウムニオブ酸ジルコニウムチタン酸鉛等の圧電性セラミックスを主成分とする。中心対称性を持たない結晶点群に属する物質、特に、ペロブスカイト結晶構造を有する圧電性セラミックスはこの作用を顕著に示すものが多いため、圧電アクチュエータに用いられている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところで、チタン酸バリウム、ジルコニウム酸鉛等は圧力や温度条件に応じて相転移を示すことが知られている。このような相転移膜の体積歪みと縦歪みには下式に示す関係がある。

【0004】

$$\begin{aligned} V + \Delta V &= a(1 + \varepsilon) \cdot a(1 - \nu \varepsilon) \cdot a(1 - \nu \varepsilon) \\ &= a^3 \{1 + (1 - 2\nu)\varepsilon + (\nu^2 - 2\nu)\varepsilon^2 + \nu^2 \varepsilon^3\} \\ &\approx a^3 \{1 + (1 - 2\nu)\varepsilon\} \end{aligned}$$

ここで、 V は相転移膜の単位格子の体積であり、 a は結晶系（立方晶系）の一边の長さである。このため、 $V = a^3$ の関係を満たす。 ε は縦方向の歪みであり、 ν はポアソン比である。 ε^2 、 $\varepsilon^3 \ll 1$ であるから上式の ε^2 項、 ε^3 項を無視すると、体積歪み（ $\Delta V/V$ ）と縦歪み（ ε ）の間には、 $\Delta V/V = (1 - 2\nu)\varepsilon$ の関係が

ある。相転移膜に伴う体積歪みは0.3%～0.4%程度であるから、体積歪みを効率良く縦歪みに変換したとすると、縦歪みは0.75%～1.0%程度になる（但し、 ν を0.3程度で計算）。圧電体膜の逆圧電効果で得られる縦歪みはせいぜい0.4%程度であるから、相転移膜の変位量は圧電体膜の変位量を大きく上回る。こ

のため、インク吐出駆動源として相転移膜を利用したアクチュエータを用いることで、従来よりもインク吐出特性に優れたインクジェット式記録ヘッドを提供することができると考えられる。

【0005】そこで、本発明は従来の圧電アクチュエータよりも変位量が大きく、駆動特性に優れたアクチュエータ、インクジェット式記録ヘッド及びインクジェットプリンタを提供することを課題とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記課題は、膜内部に生じた応力に起因して結晶構造が相転移し、歪みを生じる相転移膜と、逆圧電効果により圧電歪みを生じ、相転移膜に応力を与える圧電体膜との積層構造を有するアクチュエータによって解決できる。圧電体膜は電圧の印加により圧電歪みを生じ（逆圧電効果）、このときの歪みによって相転移膜に応力（引張り応力又は圧縮応力）が掛かる。かかる応力により相転移膜は結晶構造が相転移（強誘電的相転移）するため、体積変化が生じる。相転移膜の体積変化は効率良く縦歪みに変換できるため、従来の圧電アクチュエータよりも大きな変位を得ることができる。

【0007】ここで、相転移とは、多形（polymorphism）のことをいい、化学組成が同一で結晶構造が異なる現象をいう。同質多形、同質異形、同質多像ともいう。多形の原因は主に温度、圧力等の物理的・化学的条件による。

【0008】本発明のアクチュエータは、少なくとも上記の積層構造を備えていればよく、圧電体膜と相転移膜の積層順序や積層数等は問わない。例えば、上部電極／相転移膜／圧電体膜／下部電極となる積層構造や、上部電極／圧電体膜／相転移膜／下部電極となる積層構造、更には、上部電極／圧電体膜／下部電極／相転移膜となる積層構造でもよい。尚、本明細書において下部電極とは、アクチュエータの設置面（例えば、インクジェット式記録ヘッドのアクチュエータであれば振動板膜）側に形成されている電極をいい、上部電極とは圧電体膜又は／及び相転移膜を介して下部電極に対向して配置された電極をいうものとする。

【0009】本発明の好適な形態として、相転移膜の歪みによって延びる方向を、電圧が印加されたときの圧電体膜の歪みによって延びる方向と概略一致させる。かかる構成により、相転移膜の体積変化を効率良く縦歪みに変換できるため、従来の圧電アクチュエータよりも大きな変位を得ることができる。

【0010】また、相転移膜の歪みによって延びる方向を、電圧が印加されたときの圧電体膜の歪みによって延びる方向に概略直交させるように構成してもよい。かかる構成によれば、後述する“引き打ち”を簡単な駆動制御で実現することができる。

【0011】相転移膜の組成は、膜内部に生じる応力に

よって相転移する薄膜、例えば、チタン酸バリウム、ジルコニウム酸鉛、チタン酸バリウム・ストロンチウム、チタン酸バリウム・スズのうち何れかが好ましい。また、圧電体膜は逆圧電効果を示す薄膜、例えば、チタン酸鉛、ジルコニウム酸チタン酸鉛、チタン酸鉛ランタン、ジルコニウム酸チタン酸鉛ランタン、マグネシウムニオブ酸ジルコニウムチタン酸鉛、又は、ジルコニウム酸チタン酸鉛にタングステン、ニッケル、マンガン、亜鉛、コバルトのうち何れか2つの元素を含む系のうち何れかが好ましい。

【0012】本発明のインクジェット式記録ヘッドは、加圧室（キャビティ）を複数備えた加圧室基板と、加圧室に対応して設けられた本発明のアクチュエータとを備える。好ましくは、加圧室とアクチュエータの間に振動板膜を介在させる。

【0013】本発明のインクジェットプリンタは、本発明のインクジェット式記録ヘッドを備えている。また、他の形態における本発明のインクジェットプリンタは、相転移膜の歪みによって延びる方向を、電圧が印加されたときの圧電体膜の歪みによって延びる方向に概略直交させるように構成された本発明のアクチュエータと、略台形状の電圧変化特性を有する駆動信号で前記アクチュエータを駆動する制御回路とを備えている。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、各図を参照して本実施の形態について説明する。図1にインクジェットプリンタの構成図を示す。インクジェットプリンタは、主にインクジェット式記録ヘッド100、本体102、トレイ103、ヘッド駆動機構106を備えて構成されている。インクジェット式記録ヘッド100は、イエロー、マゼンダ、シアン、ブラックの計4色のインクカートリッジ101を備えており、フルカラー印刷が可能のように構成されている。また、このインクジェットプリンタは、内部にイメージ生成部、ワークメモリ、プリントエンジン部等を備えている。イメージ生成部等は図示していないが、専用のコントローラボード等で構成されている。イメージ生成部は外部から供給された印刷ジョブデータをワークメモリにバッファリングし、ラスタイメージデータを生成する。プリントエンジン部はラスタイメージデータを基に、インクジェット式記録ヘッド100のインク吐出タイミング、及び、ヘッド駆動機構106の走査を制御し、高精度なインクドット制御、ハーフトーン処理等を実現する。また、本体102は背面にトレイ103を備えるとともに、その内部にオートシートフィーダ（自動連続給紙機構）105を備え、記録用紙107を自動的に送り出し、正面の排出口104から記録用紙107を排紙する。

【0015】次に、インクジェット式記録ヘッドの分解斜視図を図2に示す。ここではインクの共通通路が加圧室基板内に設けられるタイプを示す。同図に示すよう

に、インクジェット式記録ヘッドは加圧室基板1、ノズルプレート2及び基体3から構成される。加圧室基板1はシリコン単結晶基板がエッチング加工された後、各々に分離される。加圧室基板1には複数の短冊状の加圧室10が設けられ、全ての加圧室10にインクを供給するための共通通路12を備える。加圧室10の間は側壁11により隔てられている。加圧室基板1の基体3側にはインク吐出駆動源としてアクチュエータが設けられている。また、各アクチュエータからの配線はフレキシブルケーブルである配線基板4に収束され、インク吐出制御回路(図示せず)に接続される。インク吐出制御回路はプリントエンジン部により制御され、所定の駆動信号でアクチュエータを駆動する。駆動信号の詳細については後述する。

【0016】ノズルプレート2は加圧室基板1に貼り合わされる。ノズルプレート2における加圧室10の対応する位置にはインク滴を吐出するためのノズル21が形成されている。ノズル21間のピッチは印刷精度に応じて適宜設定され、例えば、400dpi等の解像度が設定されている。基体3はプラスチック等で形成されており、加圧室基板1の取付台となる。

【0017】インクジェット式記録ヘッドの主要部の断面図を図3に示す。加圧室基板1には加圧室10がエッチング加工により形成されている。加圧室10の上面には振動板膜5を介してアクチュエータ13が形成されている。アクチュエータ13の振動は振動板膜5を介して加圧室10内のインクに伝達される。アクチュエータ13はインク圧を瞬時に高めることでインク滴をノズル21から吐出する。同図に図示していないが、アクチュエータ13及び表面に露出している下部電極6の全面を覆うようにパッシベーション膜で被覆してもよい。パッシベーション膜としてフッ素樹脂、シリコン酸化膜、エポキシ樹脂等が好適である。

【0018】同図に示すアクチュエータ13は、振動板膜5側から順に下部電極6、圧電体膜7、相転移膜8及び上部電極9の積層構造を構成している。圧電体膜7は電圧の印加により圧電歪みの生じる薄膜、例えば、チタン酸鉛(PbTiO_3)、ジルコニウムチタン酸鉛($\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$)、チタン酸鉛ランタン($\text{Pb}, \text{La}, \text{TiO}_3$)、ジルコニウムチタン酸鉛ランタン($\text{Pb}, \text{La}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$)又は、マグネシウムニオブ酸ジルコニウムチタン酸鉛($\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})(\text{Mg}, \text{Nb})\text{O}_3$)、ニッケル・ニオブ酸ジルコニウムチタン酸鉛($\text{Pb}(\text{Ni}, \text{Nb})\text{O}_3\text{-Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ (PNN-PZT))、又は、ジルコニウムチタン酸鉛にW、Ni、Mn、Zn、Coのうち何れか2つの元素を含む系等を使用できる。また、相転移膜8として、応力(引張り応力又は圧縮応力)の印加により結晶構造が相転移する薄膜、例えば、チタン酸バリウム(BaTiO_3)、ジルコニウム酸鉛(PbZr

O_3)、チタン酸バリウム・ストロンチウム($(\text{Ba}, \text{Sr})\text{TiO}_3$)、チタン酸バリウム・スズ($\text{Ba}(\text{Ti}, \text{Sn})\text{O}_3$)等を使用できる。相転移膜の種類としては、例えば、正方晶系から菱面体晶系へ(又は菱面体晶系から正方晶系へ)又は菱面体晶系から立方晶系へ(又は立方晶系から菱面体晶系へ)転移する薄膜を用いることができる。特に、後者の相転移は強誘電体と常誘電体間の相転移に相当する。また、キュリー点を境に存在する強誘電相(ferroelectric phase)と常誘電相(paraelectric phase)の間で相転移する強誘電体も使用することができる。

【0019】ここで、本明細書における膜応力の定義をする。薄い基板に膜が成膜されると、基板には膜応力による反りが現れるのが一般的である。この反りの基板に対する方向により引張り応力と圧縮応力を区別する。例えば、図9(A)に示すように、基板が膜を内側にして反る場合を膜内に引張り応力(T応力)が存在すると定義し、同図(B)に示すように、基板が膜を外側にして反る場合を膜内に圧縮応力(C応力)が存在すると定義する。基板を加圧室に喰えと、膜に引張り応力が存在する場合には膜は加圧室を加圧する方向に反り、膜に圧縮応力が存在する場合には膜は加圧室を減圧する方向に反ることになる。以上の定義は、“薄膜の力学的特性評価技術(株)リアライズ社 第218頁~219頁 平成4年3月19日発行”に基づいている。

【0020】本発明のアクチュエータ13の駆動方法について説明する。相転移膜8として、例えば、(111)方向に引張り応力を受けると正方晶系から菱面体晶系へ転移する任意のペロブスカイト型結晶を選んだ場合を説明する。この相転移膜8は、(111)方向に圧縮応力を受けると菱面体晶系から正方晶系へ転移する性質をも備える。この相転移膜8は正方晶系の結晶構造を(100)配向(a軸配向)処理をして成膜される。下部電極6と上部電極9に電圧を印加すると、圧電体膜7は電界方向に延び、その影響で振動板膜5及び相転移膜8は膜面方向(膜厚方向と垂直方向)に引張り応力を受ける。すると、振動板膜5は引張り応力の影響により加圧室10側に撓む。一方、相転移膜8に生じる引張り応力の方向(膜面方向)は(111)方向と35°の角度があるものの、引張り応力の影響により結晶系は(100)配向した菱面体晶系へ相転移を起こす。この結果、相転移膜8は膜厚方向に延び、振動板膜5に生じる引張り応力を増大させるため、振動板膜5の撓みをより一層増大させることができる。相転移膜8の体積変化は効率良く縦歪みに変換できるため、圧電体膜7の歪みによって延びる方向と相転移膜8の歪みによって延びる方向を概略一致させることで、振動板膜5の変位量を従来のアクチュエータ(圧電体膜のみを使用した圧電アクチュエータ)よりも大幅に増大させることができる。

【0021】一方、相転移膜8の歪みによって延びる方

向を圧電体膜7の歪みによって延びる方向と概略直交させることでいわゆる“引き打ち”を実現することができる。“引き打ち”とは、インク滴を吐出する前に一旦加圧室を減圧する方向に振動板膜を変位させ、次の瞬間に加圧室を加圧してインク滴を吐出することをいう。従来の圧電アクチュエータで“引き打ち”を実現するためには、図6(B)に示す駆動波形で圧電アクチュエータを駆動していた。圧電アクチュエータの“引き打ち”動作を図8と併せて説明する。時刻 $0 \leq T \leq T_1$ では、圧電アクチュエータ14にオフセット電圧 V_0 が印加されており、振動板膜5は微小距離 d_x だけ変位した位置でインク吐出の待機状態になっている(図8(A))。インク吐出の直前、即ち、時刻 $T_1 \leq T \leq T_2$ では、圧電アクチュエータ14に印加される電圧を0Vにまで減少させ、加圧室内の圧力を瞬時に低下させる。このステップにより、振動板膜5は元の位置に戻り、変位量は0になる。このときノズル21近傍にはメニスカス61が形成される(同図(B))。時刻 $T_2 \leq T \leq T_3$ では、印加電圧を V_H まで瞬時に上昇させることで、圧電アクチュエータ14は膜厚方向に延びる向きに歪みが生じる。すると、振動板膜5は引張り応力により、加圧室側に撓み、インク滴62を吐出する(同図(C))。時刻 $T_3 \leq T \leq T_4$ において圧電アクチュエータ14の印加電圧 V_H を保持した後、時刻 $T_4 \leq T \leq T_5$ において印加電圧をオフセット電圧 V_0 に戻す。

【0022】次に、簡単な駆動波形で“引き打ち”を容易に実現する本実施の形態のアクチュエータについて説明する。前述したように、相転移膜8はその歪みによって延びる方向が圧電体膜7の歪みによって延びる方向と概略直交するように成膜する。例えば、正方晶系の結晶を(001)配向(c軸配向)処理をして相転移層8を成膜する。圧電体膜7に電圧を印加すると、圧電体膜7が電界方向(膜厚方向)に延びることにより相転移膜8は膜面方向に引張り応力を受けて(100)配向した菱面体晶系へ相転移する。この結果、相転移膜8は膜厚方向に縮み、膜面方向に延びる。即ち、相転移膜8の歪みによって延びる方向は圧電体膜7の歪みによって延びる方向と概略直交することになる。

【0023】本アクチュエータの“引き打ち”の動作説明を図6(A)及び図7を参照して説明する。加圧室10内にはインク70が充填されている。時刻 $T \leq T_1$ においてはアクチュエータ13には電圧が印加されておらず、インク吐出待機時にある(図7(A))。時刻 $T_1 \leq T \leq T_2$ において印加電圧を0から V_P まで上昇させると、圧電体膜7が電界方向(膜厚方向)に延びる影響で振動板膜5及び相転移膜8は引張り応力を受ける。振動板膜5内に生じる引張り応力により振動板膜5は加圧室10を加圧する方向に撓む(同図(B))。さらに印加電圧を上昇させると、時刻 $T_2 \leq T \leq T_4$ において、膜面方向に引張り応力を受けた相転移膜8は(100)

配向した菱面体晶系へ相転移し、膜厚方向に縮み、膜面方向に延びる。この結果、相転移膜8には膜面方向に圧縮応力が掛かり、加圧室を減圧する方向に撓む。このとき、ノズル21にはメニスカス71が形成される(同図(C))。時刻 $T_4 \leq T \leq T_5$ において、印加電圧を0にすると、振動板膜5等に掛かっている圧縮応力が開放され、振動板膜5は元の状態に戻る。このとき加圧室10内のインク圧は瞬時に高められ、ノズル21からインク滴72が吐出される(同図(D))。

【0024】このように、本実施の形態のアクチュエータによれば、“引き打ち”のような複雑な制御を略台形状の電圧変化特性を有する駆動信号で実現することができる。このため、制御回路の部品点数を減少させることができる。また、従来のようにインク吐出の待機時にオフセット電圧を印加する必要はないため、アクチュエータの寿命が短くなる問題を解消できる。

【0025】アクチュエータ13の変形例を図4に示す。図4(A)はアクチュエータ13を構成する各薄膜の積層順序を下部電極6/相転移膜8/圧電体膜7/上部電極9としたものであり、相転移膜8と圧電体膜7の積層順序が逆になっているが、図3に示したアクチュエータ13と同様の動作特性を備えている。図4(B)に示すアクチュエータ13では、圧電体膜7を上部電極9と下部電極6で挟んだ積層構造をなしているため、圧電体膜7に直接電圧を印加することができる。また、“引き打ち”を実現する相転移膜8として、(111)配向した菱面体晶系を(111)配向した正方晶系に相転移させる薄膜を選ぶこともできる。

【0026】また、本発明のアクチュエータでは、相転移膜と圧電体膜の積層構造を備えていればよく、積層順序や積層数等に制限はない。例えば、下部電極/圧電体膜/相転移膜/圧電体膜/相転移膜/上部電極、となる積層構造でもよく、下部電極/相転移膜/圧電体膜/相転移膜/圧電体膜/上部電極、となる積層構造でもよい。また、これら複数の圧電体膜及び相転移膜は組成の異なる膜を選んでもよい。また、圧電体膜を上部電極と下部電極で直接挟む構成以外では、相転移膜における電界のロスを減少させるため、相転移膜に導電性を与えることが好ましい。

【0027】尚、本発明のアクチュエータはインクジェット式記録ヘッドのインク吐出駆動源の他に、マイクロポンプ、マイクロスイッチ等の各種精密機器のアクチュエータとして使用することもできる。

【0028】次に、図5を参照してインクジェット式記録ヘッドの製造プロセスについて説明する。まず、同図(A)に示すように、加圧室基板1に振動板膜5及び下部電極6を成膜する。加圧室基板として、例えば、直径100mm、厚さ220 μ mのシリコン単結晶基板を用いる。振動板膜5は、例えば、1100℃の炉の中で、

乾燥酸素を流して22時間程度熱酸化させ、約1 μ mの膜厚の熱酸化膜とすることで成膜する。あるいは、1100℃の炉の中で、水蒸気を含む酸素を流して5時間程度熱酸化させ、約1 μ mの膜厚の熱酸化膜を形成してもよい。その他、CVD法等の成膜法を適宜選択して成膜してもよい。振動板膜5として、二酸化珪素膜に限られず、酸化ジルコニウム膜、酸化タンタル膜、窒化シリコン膜、酸化アルミニウム膜でもよい。但し、振動板膜5は必ずしも必要ではなく、これを省略して下部電極自体に振動板膜の役割を兼ねてもよい。次に、金、白金又はアルミニウム等の導電性物質をターゲットとして振動板膜5の全面に下部電極をスパッタ成膜する。膜厚は0.3 μ m程度とする。この場合、振動板膜5と下部電極6間の密着力を高めるために、極薄のチタン、クロム等を中間層として介在させてもよい。

【0029】次に、同図(B)に示すように、下部電極6上に圧電体膜7を成膜する。成膜例として例えば、チタン酸鉛とジルコン酸鉛のモル混合比が44%：56%となるようなPZT系圧電体膜の前駆体(金属アルコキシド溶液)をゾル・ゲル法にて、最終的な膜厚が1.0 μ mとなるまで6回の塗工/乾燥/脱脂を繰り返して成膜する。次に、圧電体膜前駆体を結晶させるため、基板全体を加熱する。本例では、赤外線輻射光源を用いて基板の両面から酸素雰囲気中で650℃に5分間保持した後、900℃で1分間加熱し、自然降温させることで圧電体膜7の結晶化を行った。尚、圧電体膜前駆体の結晶化は水熱処理で行ってもよい。水熱処理とは、例えば、論文“Application of Hydrothermal Mechanism for Tailor-making Perovskite Titanate Films”, IEEE Proc. of the 9th Int'l Symp. on Electrets, Shanghai, China, Sept. 25-30, pp. 617-622(1996), W-ping Xu, Masanori Okuyama, et al., に記述されているように、アルカリ水溶液に強誘電体膜前駆体を浸漬し、結晶化させる工程である。この水熱法によれば、比較的低温(例えば、200℃以下)で圧電体膜前駆体を結晶化させることができる。また、ゾル・ゲル法の他に、高周波スパッタ成膜法や、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法、MOD (Metal Organic Decomposition Process) 法、レーザアブレーション法、印刷法等を用いることができる。

【0030】次に、同図(C)に示すように、圧電体膜7上に相転移膜8及び上部電極9を成膜する。本例では、チタン酸バリウムをMOD法で成膜する方法を説明する。まず、相転移膜8の前駆体となるゾルを調整する。酢酸バリウム($\text{Ba}(\text{CH}_3\text{COOH})_2$)を酢酸に溶解させた溶液と、テトライソプロポキシチタン($\text{Ti}(\text{O}-i-\text{C}_3\text{H}_7)_4$)をブトキシエタノールに溶解させた溶液とを混合し、溶質濃度を1M、BaとTiのモル比を1：1としたゾルを調整する。このゾルを1500rpmで0.1 μ mの厚さにスピンコーティング

し、400℃の温度環境下で脱脂する。この工程を5回繰り返し、膜厚0.5 μ mのゲルとする。最後にRTA (Rapid Thermal Annealing) で結晶化する。この処理は650℃で5分、又は、900℃で1分とする。以上の工程を経て圧電体膜7上に膜厚0.5 μ mの相転移膜8が成膜される。次に、相転移膜8上に白金をスパッタ成膜して上部電極9を得る。

【0031】次に、同図(D)に示すように、上部電極9上にレジストをスピンコートし、加圧室が形成されるべき位置に合わせて露光・現像してパターンニングする。残ったレジストをマスクとして上部電極9、相転移膜8及び圧電体膜7をエッチングしてアクチュエータ13を形成する。次に、加圧室が形成されるべき位置に合わせてエッチングマスク(図示せず)を施し、平行平板型反応性イオンエッチング等の活性気体を用いたドライエッチング、或は、5重量%～40重量%の水酸化カリウム水溶液等の高濃度アルカリ水溶液によるウェットエッチングで加圧室10を形成する。エッチングされずに残った部分は側壁11となる。最後に樹脂等を用いてノズルプレート2を加圧室基板1に接合する。このとき、各ノズル21が加圧室10の各々の空間に対応して配置されるよう位置合せする。ノズルプレート2を接合した加圧室基板1を基板3に取り付ければ、インクジェット式記録ヘッドが完成する。

【発明の効果】本発明によれば、圧電体膜の歪みを利用して相転移膜を相転移させ、このときの体積変化を利用してアクチュエータを駆動するため、従来の圧電アクチュエータよりも大きな変位を得ることができる。また、相転移膜の歪み方向と圧電体膜の歪み方向を概略直交させることで、簡単な駆動信号で“引き打ち”を実現することができる。また、応答速度が速いため、インク吐出スピードを向上させることができ、印字品質を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】インクジェットプリンタの構成図である。

【図2】インクジェット式記録ヘッドの分解斜視図である。

【図3】本発明のインクジェット式記録ヘッドの断面図である。

【図4】本発明の他の形態に係わるインクジェット式記録ヘッドの断面図である。

【図5】本発明のインクジェット式記録ヘッドの製造工程断面図である。

【図6】アクチュエータの駆動信号波形である。

【図7】本発明のアクチュエータの“引き打ち”の説明図である。

【図8】従来の圧電アクチュエータの“引き打ち”の説明図である。

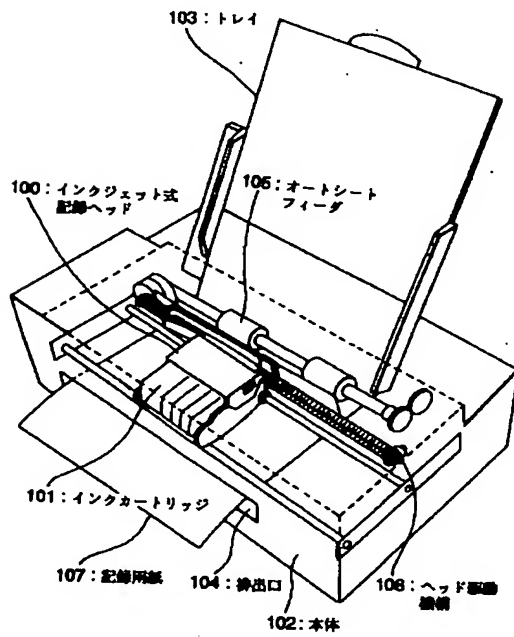
【図9】膜応力の説明図である。

【符号の説明】

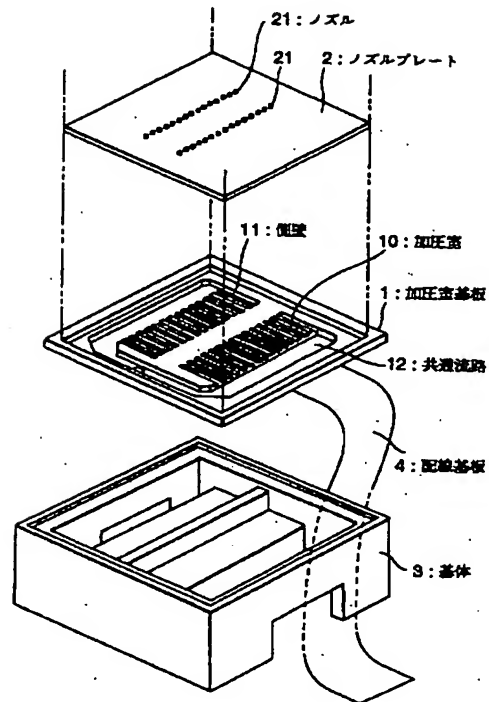
1…加圧室基板、2…ノズルプレート、3…基体、4…
配線基板、5…振動板膜、6…下部電極、7…圧電体
膜、8…相転移膜、9…上部電極、10…加圧室、11

…側壁、12…共通流路、13…アクチュエータ、14
…圧電アクチュエータ

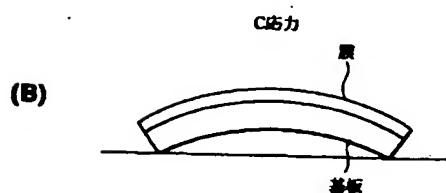
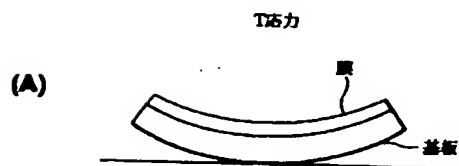
【図1】



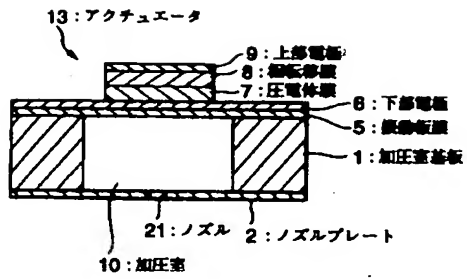
【図2】



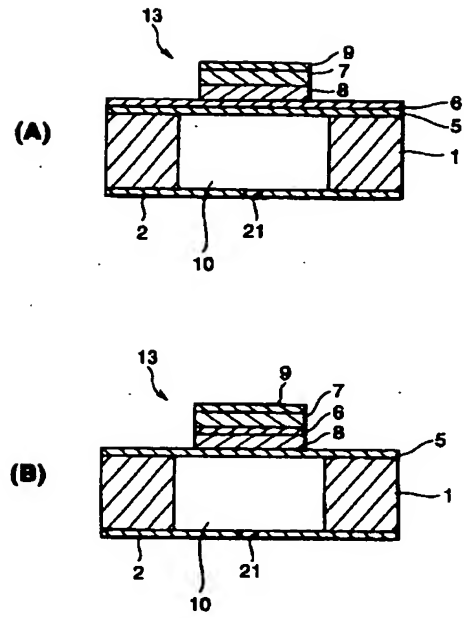
【図9】



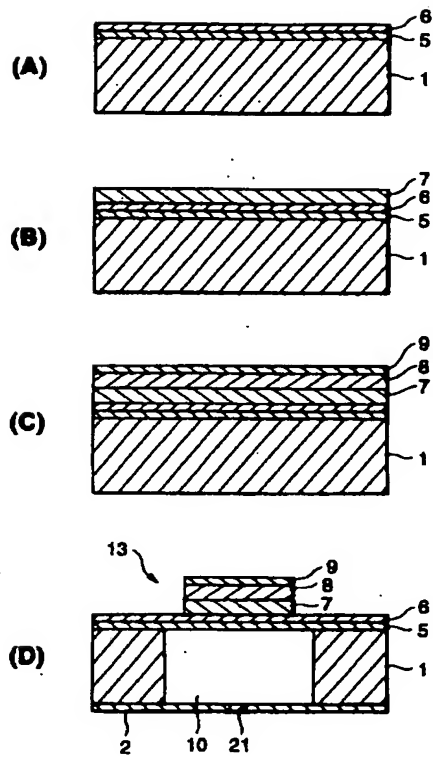
【図3】



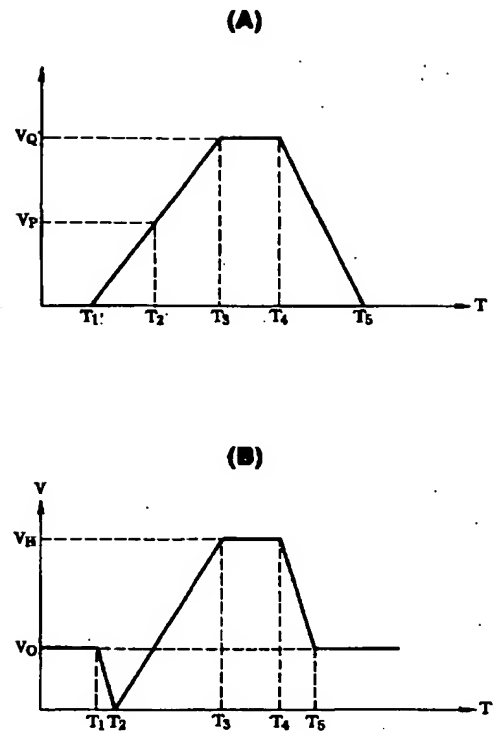
【図4】



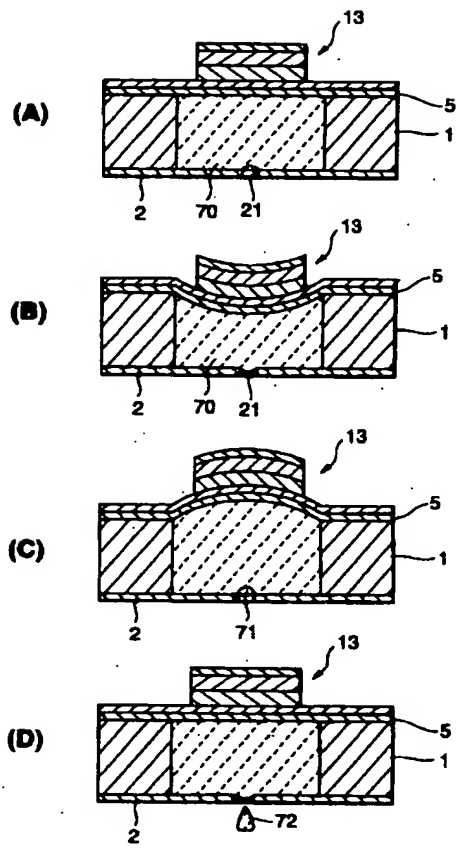
【図5】



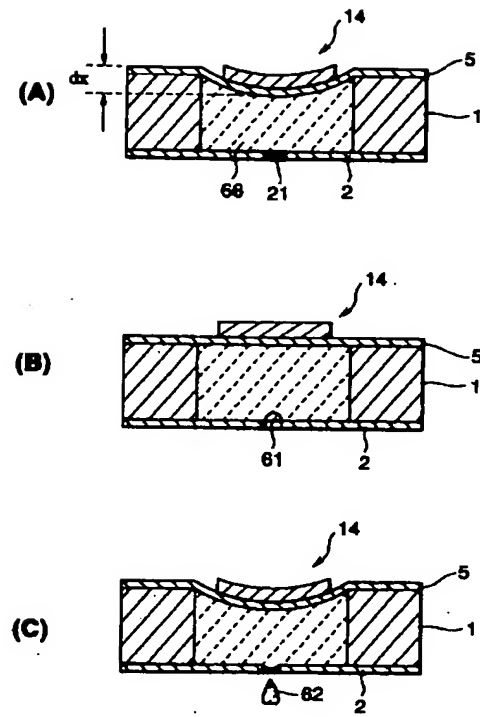
【図6】



【図7】



【図8】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.